

철도차량 유지보수정보를 이용한 수명주기비용 계산 연구

A Study on the Life Cycle Cost Calculation of the Railroad Vehicle Based on the Maintenance Information

김재훈^{†, **} · 전현규* · 박준서* · 정현용**

Jaehoon Kim · Hyun-Kyu Jun · Jun-Seo Park · Hyun-Yong Jeong

Abstract Life cycle costing is one of the most effective approaches for the cost analysis of long-life products such as the railroad vehicle. Life cycle costing includes the cost of concept design, development, manufacture, operation, maintenance and disposal. Especially, life cycle costing in the railroad industry has been focused on the maintenance cost. In this paper, the standard, guide and maintenance information of railroad vehicle were investigated, and the unique corrective and preventive maintenance templates of railroad vehicle were proposed. Maintenance cost of an auxiliary power supply system of EMU was predicted by using the proposed templates. The results show that the preventive maintenance, PM, cost is much higher compare to corrective maintenance, CM, cost because of daily and monthly maintenance tasks which require lots of labor work. It is expected that these templates can help railroad operators make maintenance strategies with consideration of the cost parameter.

Keywords : LCC, Preventive Maintenance, Corrective Maintenance, Railroad Vehicle

요 지 철도시스템의 경우에는 구성 시스템이 복잡할 뿐만 아니라 25년 이상 오랜 시간 사용으로 인해 유지보수 활동이 많으며 이에 소요되는 비용 또한 많다. 따라서 철도시스템의 LCC 계산에 있어 얼마나 정확하게 유지보수 비용을 계산하느냐가 관건이라 해도 과언이 아니다. 따라서 본 연구에서는 철도시스템 LCC 모델링 개발의 일환으로 철도차량의 정확한 유지보수 비용을 계산하기 위하여, 규격과 가이드 등 관련 자료의 분석을 통하여 철도차량에 적합한 예방정비와 보수정비에 관련된 유지보수정보 템플릿의 개발 연구를 수행하였으며, 이렇게 제안된 유지보수정보 DB 템플릿에 대한 검증은 위하여, 철도시스템 부품에 대한 전주기 유지보수비용을 계산하였다.

주 요 어 : 수명주기비용, 예방정비, 보수정비, 철도차량

1. 서 론

수명주기 비용(Life Cycle Cost, 이후 LCC)은 해당 시스템의 개념설계 및 개발, 제작, 운영, 유지보수 및 폐기 단계에 이르기까지 소요되는 모든 비용을 포괄한다[1]. LCC의 개념은 1970년대 미국 국방부에서부터 적용되기 시작하였으며, 이후 발전설비 및 화학 플랜트 등 장치산업 등으로 그 대상 영역이 확대되었고, 1990년대에 들어서는 항공시스템, 철도시스템 등 다양한 분야가 융합된 대형 시스템 산

업으로 확대 적용되고 있다[2].

특히 철도시스템의 경우에는 구성 시스템이 복잡할 뿐만 아니라 오랜 시간(25년 이상) 사용으로 인해 유지보수 활동이 많으며 이에 소요되는 비용 또한 많다[1,3]. 따라서 철도시스템의 LCC 계산에 얼마나 정확하게 유지보수 비용을 계산하느냐가 관건이라 해도 과언이 아니다. 따라서 본 연구에서는 철도시스템 LCC 모델링 개발의 일환으로 철도차량의 정확한 유지보수 비용을 계산하기 위하여, 규격과 가이드 등 관련된 자료의 분석을 통하여 철도차량에 적합한 예방정비와 보수정비에 관련된 유지보수정보 템플릿의 개발 연구를 수행하였다. 그리고 이렇게 제안된 유지보수정보 템플릿에 대한 검증은 위하여, 철도시스템 부품에 대한 전주기 유지보수비용을 계산하였다.

[†] 책임저자 : 정희원, 한국철도기술연구원, 선임연구원

E-mail : lapin95@krti.re.kr

TEL : (031)460-5248 FAX : (031)460-5279

* 정희원, 한국철도기술연구원

** 정희원, 서강대학교 기계공학과

2. 유지보수정보 템플릿 분석

2.1 EN50126-1[4] 유지보수정보 템플릿 분석

철도시스템 LCC 모델링 기법 개발의 일환으로 철도차량 유지보수정보 DB의 템플릿을 개발하기 위하여, 기존의 관련된 규격을 조사 분석하였다. 먼저 유럽전기기술 표준 협회인 CENELEC(Comité Européen de Normalisation Electrotechnique/ 영문: European Committee for Electrotechnical Standardization)에 소속된 철도차량 전기기계차상 장치(Electro-mechanical material on board of rolling stock) 워킹그룹에서 작성한 철도차량의 RAMS를 위한 EN50126-1 응용 가이드의 관련 내용을 분석하였다. EN50126-1은 철도 분야에서 목표한 RAMS를 달성하는데 필요한 제반 사항에 대해 설명하고자 제작되었는데, 철도 시스템의 전체 수명주기 마다 요구되는 다양한 작업들이 총체적으로 정의되어 있다[4].

철도차량을 위한 RAMS는 전체적인 시스템 성능에 중대한 영향을 미치는데, 이것의 경제적 측면에서의 중요성을 파악하는 지표로서 LCC가 활용된다. EN50126-1에서 LCC는 경제적 측면에서 시스템을 나타내기 위한 총 비용으로 정의한다. 따라서, 시스템에 대한 경제적 고려사항들을 파악하기 위해서는 철도차량의 LCC에 기여하는 RAMS를 활용할 수 있다. 그리고 이러한 관점에서 EN50126-1은 유지보수성(Maintainability) 측면에서 유지보수 특성과 정보 DB 템플릿을 제안하고 있다.

대부분의 철도 운영사들은 유지보수 작업을 수행하기 위한 인력, 자원, 예비품 및 각종 유지보수 장비 등을 보유하고 있는 depot를 운영하고 있다. 또한 depot가 보유하고 있는 인력과 자원, 예비품 및 장비만으로 depot의 운영 목표를 충족시킬 수 없는 경우, 다시 말해 최소한의 유지보수 시간 요구조건을 충족할 수 없는 경우에는 depot가 아닌 제3의 장소(component workshop 등)에서 유지보수 작업이 이루어지게 된다. 따라서 EN50126-1에서는 유지보수 레벨을 depot에서 이루어지는 “In-Service Maintenance” 레벨과 depot 이외의 제3의 장소에서 이루어지는 “Out-of-Service Maintenance” 레벨로 정의하고 있다. 이러한 2가지 종류의 유지보수 레벨 분류의 목표는 RAMS 요구사항을 충족시키는 것이며, 이를 위해 예방정비(Preventive Maintenance, PM)는 다음의 형태로 수행될 수 있다. 첫째 “In-Service Maintenance” 중 예방정비는 대기 시간을 최소화시키기 위해 다음의 2가지 유지보수 상황이 고려될 수 있다. ① 예정된(scheduled) 모든 유지보수 작업이 depot에서 수행되는 경우와 ② depot에서는 오직 유지보수 대상의 제거, 설치 및 예비품으로의 교체 작업만이 수행되며, 이를 제외

한 유지보수 작업들은 제3의 장소에서 수행되는 경우로 나눌 수 있다. 하지만 둘째 “Out-of-Service Maintenance” 중 예방정비의 경우에는 오직 한 가지 유지보수 상황만이 고려되며, 모든 예정 유지보수 작업은 제3의 장소에서 수행된다.

보수정비(Corrective Maintenance, CM)를 수행할 때에도 예방정비와 유사한 상황이 고려될 수 있다. 하지만 보수정비의 경우에는 depot에서 자원(인력, 설비 등) 외에도 차량에서 발생한 고장모드(failure mode) 또한 반드시 고려되어야 한다. 이는 고장모드 역시 RAMS 요구사항에 중대한 영향을 미치는 요소이기 때문이다. 따라서 보수정비에는 “In-Service Maintenance” 레벨과 “Out-of-Service Maintenance” 레벨에 고장모드를 고려하여 수행해야 한다. 먼저, “In-Service Maintenance”에서 보수정비는 예방정비와 마찬가지로 대기 시간을 최소화시키기 위해 다음의 2가지 유지보수 상황이 고려될 수 있다. ① 수리 가능한 고장모드의 경우 수리를 위한 모든 유지보수 작업은 depot에서 수행된다. ② 수리가 불가능한 고장모드의 경우 depot에서는 오직 예비품을 사용하여 유지보수 대상의 제거 및 설치 작업만이 수행된다. 하지만 둘째 “Out-of-Service Maintenance”의 경우에는 오직 한 가지 유지보수 상황만이 고려되며, 수리 가능한 고장모드의 경우 해당 유지보수 대상의 제거 및 예비품 설치 작업과 기타 모든 유지보수 작업이 제3의 장소에서 이루어진다. 참고로 depot에서 수행되는 모든 “In-Service Maintenance”는 철도차량 부품LRU (Line Replaceable Unit) 단위로 수행된다.

그리고 EN50126-1에서는 이러한 유지보수 특성이 반영된 유지보수 분석 DB 템플릿을 제안하고 있다. 먼저 예방정비와 관련해서는 Table 1과 같이 유지보수 레벨을 반영하여 예방정비에 관련된 정보들을 입력하도록 하고 있다. 하지만 EN50126-1은 RAMS 관점의 유지보수정보 템플릿을 제안하고 있기 때문에 철도시스템 예방정비에 대한 비용 산출을 위한 필수적인 항목인 “시간당 인건비(man hour cost)”는 생략되어 있다.

또한, 보수정비와 관련해서는 Table 2와 같이 보수정비에 관련한 정보들을 포함하고 있다. 보수정비 분석 템플릿의 항목은 전체적으로 예방정비 분석 템플릿의 항목과 유사하나, 앞서 설명한 것과 같이 보수정비에 있어 고장모드는 RAMS 요구사항에 중대한 영향을 미치는 요소이기 때문에 보수정비 분석 템플릿에 LRU의 고장모드와 관련된 항목이 추가되어 있으며, 유지보수 활동 횟수와 관련해서는 정비의 주기가 아닌 LRU 고장모드에 대한 고장률이 포함되어 있다.

Table 1. EN50126-1 Preventive maintenance template contents

Code	LRU 분류 코드
Description	LRU 설명
Part No.	LRU 부품 번호
Qty	열차 당 LRU 수
Step no.	유지보수 작업 식별 번호
Maintenance Task	예방정비 작업 설명
Spare Parts and special tools	작업에 필요한 특수 장비 및 물품
Frequency	예방정비 주기 (time or Km)
Maintenance level	예방정비 유지보수 레벨 코드 • InS-PM (In-Service PM) • OutS-PM (Out-of-Service PM)
Personnel	유지보수 인력 수
Skill Level	예방정비 작업자 기능 레벨
Spare Parts Cost	예비품 비용
Man hours	예방정비 인원 수 × 유지보수 작업 시간
Standstill time	예방정비로 인한 철도차량 대기시간
Total Qty	전체 철도차량에 속한 LRU의 수
Notes	기타 사항 및 주석

Table 2. EN50126-1 Corrective maintenance template contents

Code	LRU 분류 코드
Description	LRU 설명
Part No.	LRU 부품 번호
Qty	열차 당 LRU 수
Failure Mode.	FMEA 통한 LRU 고장모드
Maintenance Task	보수정비 작업 설명
Spare Parts and special tools	작업에 필요한 특수 장비 및 물품
Failure rate (in failures/Mh)	LRU 고장 모드의 고장률
Maintenance Level	보수정비 유지보수 레벨 코드 • InS-CM - Rep (In-Service CM w/ Repairable) • InS-CM - Not Rep (In-Service CM w/ Non Repairable) • Out-SCM (Out-of-Service CM)
Personnel	유지보수 인력 수
Skill Level	보수정비 작업자 기능 레벨
Spare Parts Cost	예비품 비용
Man hours	보수정비 인원 수 × 유지보수 작업 시간
Standstill time	보수정비로 인한 철도차량의 대기시간
Total Qty	전체 철도차량에 포함된 LRU의 수
Notes	기타 사항 및 주석

2.2 UNIFE LCC[1] 모델 유지보수정보 템플릿 분석

철도시스템 LCC 모델링 기법 개발을 위한 유지보수정보 템플릿의 개발을 위하여, 추가로 UNIFE(유럽철도산업연합, Union of European Railway Industries) LCC 모델의 유지보수정보 템플릿에 대해 조사 분석하였다[2]. UNIFE LCC 모델은 하나의 부품 또는 시스템의 획득 및 유지와 보수에 사용되는 총비용을 평가하는 경제적 분석 절차이다. 일반적으로 철도차량 구매 고객 및 운영자는 신뢰할 수 있고 안전한 운영을 보장하며 수명기간 동안 손쉽게 유지보수 될 수 있는 철도차량 제품을 요구한다. 운영자는 고객으로서 철도차량 또는 철도시스템을 구매하는 의사 결정에서 취득 비용뿐 아니라 시스템의 운영 시 소요되는 유지보수에 대한 기대비용도 중요하게 고려해야 한다. 따라서 UNIFE LCC의 모델은 유지보수에 대한 기대비용을 계산하기 위하여 예방정비와 보수정비에 관한 일련의 정보 템플릿을 제안하고 있다.

먼저 UNIFE LCC 모델은 EN50126-1과 달리 RAMS 관점에서의 유지보수 정보 분석이 아닌 대상 시스템의 총비용 평가 관점에서 유지보수 정보를 분석한다. 따라서 Table 3과 같이 열차 총 수량, 총 운행거리 및 시간, 연당 가동 시간 등 EN50126-1의 유지보수정보 템플릿에는 없는 글로벌 데이터 항목을 별도로 정의하고 있다.

Table 3. UNIFE LCC Global data template contents

Man hour cost	시간당 인건비
Number of trains	총 열차 수
Operation distance	총 운행 거리 (km/y)
Life Cycle Length	총 사용 연수 (year)
Powered time per year	연당 가동 시간 (hour)

또한 철도차량 부품 유지보수 단위에 있어서 UNIFE LCC 모델은 EN50126-1과 다르게, 라인 교체 가능 유닛인 LRU와 예비품 유닛인 SRU(Shop Replaceable Unit)로 구별하고 있으며, SRU 단위로 유지보수 비용계산을 다루고 있다. 그리고 예방정비와 보수정비의 유지보수 레벨 정의에 있어 UNIFE LCC 모델은 1차 line, 2차 depot, 3차 부품공장과 같은 제3의 장소에서의 유지보수 활동으로 구분하고 있다. 하지만 이 경우에도 정의만 구별할 뿐 실제 총비용 계산을 위한 유지보수 레벨 구분에 있어서는 1차 line과 2차 depot를 하나로 묶어 동일한 유지보수 레벨로 정의하고 있기 때문에 UNIFE LCC 모델의 1차 line과 2차 depot는 EN50126-1의 “In-Service Maintenance” 레벨과, 3차 부품공장과 같은 제3의 장소는 “Out-of-Service Maintenance” 레벨과 동일한 유지보수 레벨이라고 볼 수 있다. 하지만

EN50126-1의 보수정비에서 고려하는 고장모드에 따른 수리가능 여부에 대해서 UNIFE LCC 모델은 고려하지 않고 있으며, 단지 대상 SRU의 교환과 수리 가능여부만을 고려하여 유지보수 총 비용을 계산하고 있다. 또한 man hour에 있어서도 EN50126-1은 “유지보수에 필요한 인원수(personnel) × 유지보수에 걸리는 작업 시간”으로 정의하여 유지보수에 소요되는 인원수를 고려하고 있으나 UNIFE LCC 모델은 총 비용 계산을 위하여 유지보수 활동에 걸리는 총 인시(man hour)만을 요구하고 있다. 따라서 이 정보로는 실제 유지보수 활동 시 몇 명의 인원이 소요되는지를 확인할 수는 없는 단점이 있다. 그리고 작업에 필요한 특수 장비와 물품들에 관한 정보도 UNIFE LCC 모델은 예방정비와 보수정비 DB 템플릿이 아니라 별도로 고려하고 있다. 기타 UNIFE LCC 모델의 예방정비와 보수정비정보 DB 템플릿의 항목 및 정의에 있어서는 Table 4, 5와 같으며, EN50126-1의 항목과 정의와 유사하다.

Table 4. UNIFE Preventive maintenance template contents

Identity	SRU 분류 코드
Name	SRU 이름
Total in train/proj	열차 당 총 아이템 수
Spare Part Price	예비품 비용
Task No	유지보수 작업 식별 번호
PM Description	예방정비 작업 설명
Work shop	work shop 타입 (1, 2 or 3)
PM Interval	예방정비 주기
PM Interval Exception	예방정비주기의 예외
Interval unit(km/d/m/y)	주기 단위
PM MMH(Manh)	예방정비 인시
Time per task	유지보수 작업 시간
Skill Category	예방정비 작업자 기능 카테고리
Spare Part Name	예비품 이름
Spare Part Number	예비품 파트 넘버
Mtrl cost	예방정비 재료비
Cost unit	주어진 재료비 단위

3. 철도시스템 LCC 모델을 위한 유지보수정보 템플릿 제안

3.1 철도시스템 LCC 모델을 위한 유지보수정보 템플릿 제안

철도시스템 LCC 모델링 개발의 일환으로 철도차량의 정확한 유지보수비용을 계산하기 위하여, 앞서 분석한

Table 5. UNIFE Corrective maintenance template contents

Identity	SRU 분류 코드	
Name	SRU 이름	
Total in train/proj	열차 당 총 아이템 수	
Supplier Part Number	공급자 파트 넘버	
Sub-Supplier	하위 공급자	
Sub-Supplier Item Name	하위 공급자 Item 이름	
Sub-Supplier Part Number	하위 공급자 파트 넘버	
Spare Part Price	예비품 비용	
Exchangeable	교환 가능 여부	
Fraction by Exchange	수리율 (1: 교환 0: 수리)	
Repairable	수리 가능 여부	
Failure rate	고장률	
F/R unit	고장률 단위	
MMH(manh)	보수정비 인시	
MTTR	평균 수리 시간	
Skill Category	보수정비 작업자 기능 카테고리	
1st, 2nd line	Mtrl cost	1st, 2nd line 보수정비 재료비
3rd Rep	Rep cost	3rd Rep 보수정비비
3rd Rep Time CWS		3차 workshop 수리 평균 인시

EN50126-1규격과 UNIFE LCC 모델 가이드 자료 분석 결과를 바탕으로 철도차량에 적합한 예방정비와 보수정비정보 템플릿을 제안하였다. 본 연구에서 제안하는 철도시스템 LCC 모델을 위한 유지보수정보 DB 템플릿은 그 기본 목적이 유지보수에 대한 기대비용 계산에 있다. 따라서 본 연구에서 제안된 템플릿은 UNIFE LCC 유지보수정보 템플릿과 같이 유지보수 기대비용을 계산할 수 있는 항목을 기본으로 포함하며, 추가로 철도시스템 RAMS 관점에서 EN50126-1과 같은 RAMS 고려 항목을 추가하였다. 본 연구에서 제안한 유지보수정보 DB 템플릿과 항목은 Fig. 1, 2, Table 6, 7과 같다.

Fig. 1. Preventive maintenance template

Corrective Maintenance Sheets														
Rolling Stock Code L1 L1 Assy		Code L2 L2 Assy Drawg or Clarif Plat				Doc. No. Version Number Date of version Drawn by Page n/N File name				Spare Part Cost (6/10000) Man-hour cost (6/10000) Total Cost (6/10000)				
L2 Assy total Data														
Code	LRU Description	Qty	Failure Mode	Maintenance Task	Spare Parts	Failure Rate (in failure/1000h)	Repairable (Y/N)	Spare Part cost	1st, 2nd line Material cost	3rd Rep Material cost	1st, 2nd line Personnel	3rd Rep Personnel	QIS level	Note
SRU														

Fig. 2. Corrective maintenance template

Table 6. Corrective maintenance template contents

ID.No	SRU 분류 코드
Item Name	SRU 이름
Quantity	열차당 LRU 수
Failure mode	FMEA 통한 LRU의 고장모드
Maintenance task	보수정비 업무 설명
Spare Parts	작업에 필요한 소비재 및 예비품
Failure rate(in failure/Mh)	LRU 고장모드의 고장률(백만 시간당 고장 횟수)
Repairable (Y/N)	수리 가능 여부
Spare Part cost	예비품 비용
1st, 2nd line Material cost	재료비
3rd rep Material cost	
1st, 2nd line	Personnel
	Man hour
3rd rep	Personnel
	Man hour
Skill level	예방정비 작업자 기능 레벨
Notes	기타 사항 및 주석

Table 7. Preventive maintenance template contents

ID.No	SRU 분류 코드
Item Name	SRU 이름
Quantity	열차당 LRU 수
Step No.	예방정비 업무 식별 번호
Maintenance Action Codes	예방정비 업무 고유 코드 (IN, SV, RP, NDT, RM, OV)
Maintenance Task	예방정비 업무 설명
Spare Parts	작업에 필요한 소비재 및 예비품
Interval	예방정비 주기 및 단위
Interval unit (km/d/m/y)	
Spare Part Cost	예비품 비용
1st, 2nd line Material cost	재료비
3rd rep Material cost	
1st, 2nd line	Personnel
	Man hour
3rd rep	Personnel
	Man hour
Skill level	예방정비 작업자 기능 레벨
Notes	기타 사항 및 주석

기본적으로 보수정비의 유지보수 단위는 UNIFE LCC 모델과 동일하게 라인교체 가능 유닛인 LRU 단위가 아니라 예비품 단위인 SRU 단위로 정하고 있다. 이것은 실제로 철도시스템 운영기관에서 유지보수 활동을 SRU 단위에서 수행하고 있기 때문이며, 만일 LRU 단위만을 고려할 경우 LRU 단위로 교체가 이루어진 이후 하위의 SRU 단위에서 수리 혹은 교체가 발생한 경우에 대해서는 계산이 불가능하다[2,5-6].

또한 유지보수 레벨 정의에 있어서도 제안된 유지보수정보 템플릿은 Fig. 3 및 Table 6, 7과 같이 1차 line, 2차 depot, 3차 workshop(정비창) 등의 제 3의 장소에서의 유지보수 활동으로 구분하였으며, 1차 line과 2차 depot를 하나로 묶어 동일한 유지보수 레벨로 정의하였으며, 정비창과 같은 제 3의 장소는 독립적인 유지보수 레벨로 정의하였다. 하지만 앞서 설명한 것과 같이 보수정비에 있어 고장모드는 RAMS 요구사항에 증대한 영향을 미치는 요소이기 때문에 보수정비 분석템플릿에 SRU의 “고장모드” 정보에 관련된 항목을 추가하여, 이를 고려하도록 하였다.

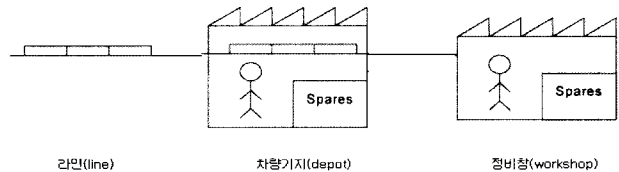


Fig. 3. Proposed maintenance level simple diagram

또한 “부가 물품” 항목을 추가하여 유지보수비용 계산에 필수적인 재료비 계산은 예비품 비용 외에 부가적으로 소비되는 물품들에 대한 비용을 포함하여 “재료비” 항목에 입력하도록 하였다. 이 경우 SRU의 “수리 가능여부” 항목을 두어 이를 고려하도록 하였다 (예, SRU 항목: 베어링, 부가 물품 항목: 윤활제, 예비품 비용 항목: 베어링 예비품 비용, 재료비 항목: 예비품 비용 또는 수리 가능한 SRU의 경우 수리비용 + 부가 물품 비용). 이외의 보수정비 활동횟수와 관련해서는 SRU의 고장모드에 따른 “백만 시간당 고장률”을 이용하도록 하였고, 기타 보수정비정보 템플릿의 항목은 Table7과 같이 구성되어 있다.

예방정비정보 템플릿의 경우 앞서 설명한 보수정비정보 DB 템플릿과 기본적인 항목에서 유사하다. 하지만 예방정비는 주기적으로 유지보수 활동이 반복되기 때문에 예방정비정보 DB 템플릿에 예방정비 업무를 코드화하였으며 (코드 IN:Inspection, SV: Servicing, RP: Replacement/ Replenishment of consumables, NDT: Non-Destructive Test, RM: Removal for overhaul/replacement, OV: Major

parts' renewal/replacement during overhaul), 예방정비 활동 횟수와 관련하여 주기를 거리(km)와 시간(day/month/year)으로 구별하여 입력하도록 하였다. 하지만 철도시스템 유지보수 총비용을 계산하기 위해서는 제안된 유지보수정보 DB 템플릿의 경우에도 UNIFE LCC 모델과 같이 추가로 열차 총 수량, 총 운행거리 및 시간, 년당 가동 시간 등 글로벌 데이터 항목은 별도로 정의되어야 한다[7].

3.2 제안된 유지보수정보 템플릿을 이용한 철도시스템 부품에 대한 전주기 유지보수비용 계산

본 연구에서 제안한 유지보수정보 템플릿을 이용하여 철도시스템 부품에 대한 전주기 유지보수비용 계산을 수행하였다. 철도시스템 대상 부품으로는 전동차 주요부품 중의 하나이며, 데이터 확보가 가능한 전동차의 보조전원장치를 선정하였다. 보조전원장치의 전주기 유지보수 비용을 계산하기 위하여 먼저 2.2절 UNIFE LCC 모델과 같이 전동차 10량 1편성에 대한 총 운행거리 및 시간, 연당 가동 시간 등 필수적인 글로벌 데이터 항목을 조사하여 Table 8에 정의하였다. 글로벌 데이터의 각 해당 값들은 현재 운행되고 있는 국내 전동차의 데이터 조사를 바탕으로 하여 현실성 있게 입력하였다. 그리고 앞서 정의한 보수 및 예방정비 항목에 관해서는 해당부품의 유지보수 규정 및 현장과 제작사 조사를 통하여 수집하였다. Table 9, 10은 보조전원장치 SRU 중 Power Supply (DDPU-106)의 보수 및 예방정비 비용 계산에 필요한 항목을 자세히 나타낸 것이며, 나머지 모든 보조전원장치의 SRU에 대해서도 동일 항목을 조사하여, 보조전원장치의 SRU 유지보수비용을 계산하였다.

Table 8. Global data for EMU

Man hour cost	9,375 Won (= 1.5M Won/20days/8hour work)
Number of trains	1 (1 train = 10 cars)
Operation distance	130,000 km/y (≈ 0.4 M km/3 year)
Life Cycle Length	25 year (By the law)
Powered time per year	5,200 hour (= 0.13 M km/25km/h)

10량 1편성 전동차에 대한 25년 동안 유지보수 비용을 계산한 예측치는 Table 11과 같다. 계산결과 보조전원장치에 대한 예방정비 비용은 보수정비 비용과 비교하여 약 27배 많은 것을 알 수 있으며, 보조전원장치에 관한 유지보수 비용의 대부분은 예방정비 수행에 발생하는 것으로 예측되었다. 또한 지출된 유지보수비용의 비목 분포에 있어서 예방정비와 보수정비가 서로 다른 것을 알 수 있으며, 예방정

비의 경우에는 실제 부품의 고장율에 따른 예방 교체 및 수리의 재료비보다는 정규적인 예방점검에 따른 인건비 지출이 훨씬 많은 것으로 예측되었다. 하지만 보수정비의 경우에는 실제 고장 또는 이상이 있는 부품에 대해서만 교환 및 수리가 수행되기 때문에 이를 보수하는데 걸리는 시간에 따른 인건비보다는 교환 및 수리되는 부품의 재료비용이 더 많이 드는 것으로 예측되었다. 따라서, 이러한 계산 결과는 전동차 운영에 있어 운영사의 유지보수정책을 결정할 수 있는 하나의 근거 자료로 사용될 수 있을 것이다.

Table 9. SRU corrective maintenance information (sample)

ID.No	171241	
Item Name	Power Supply (DDPU-106)	
Quantity	3	
Failure mode	Failure to provide power for the train	
Maintenance task	Multiple SIV unit fitted. Battery change over circuit fitted.	
Spare Parts	Power Supply (DDPU-106)	
Failure rate(in failure/Mh)	4.02 failure/Mh	
Repairable (Y/N)	No repair & Exchange	
Spare Part cost	52,500 Won	
1st, 2nd line Material cost	52,500 Won	
3rd rep Material cost	-	
1st, 2nd line	Personnel	1 Personnel × 0.8 Man hour
	Man hour	
3rd rep	Personnel	-
	Man hour	
Skill level	Electrical Engineer	
Notes	-	

Table 10. SRU preventive maintenance information (sample)

ID.No	171241	
Item Name	Power Supply (DDPU-106)	
Quantity	3	
Step No.	3C 171241 01	
Maintenance Action Codes	IN	
Maintenance Task	Power Supply Inspection	
Spare Parts	Power Supply (DDPU-106)	
Interval	3 year	
Interval unit (km/d/m/y)		
Spare Part Cost	52,500 Won	
1st, 2nd line Material cost	52,500 Won	
3rd rep Material cost	-	
1st, 2nd line	Personnel	1 Personnel × 0.8 Man hour
	Man hour	
3rd rep	Personnel	-
	Man hour	
Skill level	Electrical Engineer	
Notes	-	

Table 11. Result of life cycle cost for Power supply during 25 year

Cost	CM	PM
Man hour Cost	96,327 Won	60,953,063 Won
Material Cost	2,198,280 Won	1,323,000 Won
Total Cost	2,294,608 Won	62,276,063 Won

4. 결론

철도시스템 LCC 모델링 개발의 일환으로 철도차량의 정확한 유지보수비용을 계산하기 위하여, EN50126-1 규격과 UNIFE LCC 모델 가이드 등 관련된 자료 분석 결과를 통하여 바탕으로 철도차량에 적합한 예방정비와 보수정비정보 템플릿을 제안하였다. 본 연구에서 제안하는 철도시스템 LCC 모델을 위한 유지보수정보 DB 템플릿의 기본 목적은 유지보수에 대한 기대비용 계산이다. 따라서 본 연구에서 제안된 템플릿에는 UNIFE LCC 유지보수정보 템플릿과 같이 유지보수 기대비용을 계산할 수 있는 항목을 기본으로 포함시켰으며, 추가로 철도시스템 RAMS 관점에서 EN50126-1과 같은 RAMS 고려 항목을 추가하였다. 그리고 이렇게 제안된 유지보수정보 템플릿의 효용을 검증하기 위하여, 전동차의 보조전원장치에 대한 전주기 유지보수비용 계산을 수행하였다. 이를 통하여 예방정비 비용이 보수정비 비용보다 훨씬 크며, 보수정비 비용에서는 부품의 재

료 비용이 인건비보다 크다는 것을 확인하였다. 이러한 계산 결과는 전동차 운영에 있어 운영사의 유지보수정책을 결정할 수 있는 하나의 근거 자료로 사용될 수 있으므로, 이 연구 결과가 시사하는 바가 크다.

참고문헌

1. UNIFE Guidelines for life cycle cost volume 1~4.
2. 박준서 외(2007), "RAMS 기반 철도차량 유지보수주기 산정기술 개발", 한국철도기술연구원.
3. 도시철도차량관리에 관한 규칙 제9조.
4. CLC/TR 50126-1~3, Railway applications-The specification and demonstration of RAMS-part3: Guide to the application of EN50126-1 for rolling stock RAMS.
5. Handbook for reliability-centered maintenance requirements for naval aircraft, weapons systems and support equipment, MIL-HDBK-2173(AS).
6. 이호용, 한석운, 박기준, 배철호, 서명원(2004), "도시철도 유지보수 예방정비체계 구축 방법론에 관한 연구", 한국철도학회논문집, 제7권, 제3호, pp.245-250.
7. 김재훈 외(2008), "철도차량 수명주기비용 계산을 위한 유지보수정보 DB 템플릿에 관한 연구", 한국철도학회 춘계학술대회논문집.

접수일(2008년 7월 8일), 수정일(2009년 1월 9일),
게재확정일(2009년 2월 4일)